

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

УДК 681.511.4:661.333(075)

Бобух Анатолий Алексеевич, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры автоматизации химико-технологических систем и экологического мониторинга. Тел. +38-096-233-47-96. E - mail: aabobukh@ukr.net (orcid.org/0000-0002-3405-386X)

Дзевочко Александр Михайлович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматизации химико-технологических систем и экологического мониторинга. Тел. +38-096-937-46-68. E - mail: sashadzevchko2@mail.ru (orcid.org/0000-0002-1297-1045)

Подустов Михайло Алексеевич, д-р. техн. наук, проф., заведующий кафедрой автоматизации химико-технологических систем и экологического мониторинга

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», м. Харьков, Украина. Ул. Фрунзе, 21, м. Харьков, Украина, 61002. Тел. +38-067-577-65-57. E - mail: podustov@kpi.kharkov.ua (orcid.org/0000-0003-2119-1961)

МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТА ОБОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ВИРОБНИЦТВА КАЛЬЦИНОВАНОЇ СОДИ

У статті розглянуті основні принципи моделювання об'єкта оборотного водопостачання виробництва кальцинованої соди за аміачним способом), як найбільш важливої частини загального водопостачання та водоспоживання цього виробництва, запроваджені критерії та вимоги до раціонального функціонування при розробці та реалізації комп'ютерно-інтегрованої системи управління цим об'єктом та виробництвом в цілому.

Ключові слова: моделювання, об'єкт оборотного водопостачання, виробництво кальцинованої соди, критерії функціонування, комп'ютерно-інтегрована система управління.

Бобух Анатолий Алексеевич, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры автоматизации химико-технологических систем и экологического мониторинга. Тел. +38-096-233-47-96. E - mail: aabobukh@ukr.net (orcid.org/0000-0002-3405-386X)

Дзевочко Александр Михайлович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматизации химико-технологических систем и экологического мониторинга. Тел. +38-096-937-46-68. E - mail: sashadzevchko2@mail.ru (orcid.org/0000-0002-1297-1045)

Подустов Михаил Алексеевич, д-р. техн. наук, проф., заведующий кафедрой автоматизации химико-технологических систем и экологического мониторинга.

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина. Ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002. Тел. +38-067-577-65-57. E - mail: podustov@kpi.kharkov.ua (orcid.org/0000-0003-2119-1961)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТА ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА КАЛЬЦИНИРОВАННОЙ СОДЫ

В статье рассмотрены основные принципы моделирования объекта оборотного водоснабжения производства кальцинированной соды по аммиачному способу, как наиболее значимой части общего водоснабжения и водопотребления этого производства, введены критерии и требования к рациональному функционированию при разработке и реализации компьютерно-интегрированной системы управления этим объектом и производством в целом.

Ключевые слова: моделирование, объект оборотного водоснабжения, производство кальцинированной соды, критерии функционирования, компьютерно-интегрированная система управления.

Bobukh Anatoliy Alekseevich, Ph.D., associate professor, professor of department of automation of the chemical-technological systems and ecological monitoring. Tel. +38-096-233-47-96. E - mail: aabobukh@ukr.net (orcid.org/0000-0002-3405-386X)

Dzevchko Alexander Mikhajlovich, Ph.D., associate professor, associate professor of department of automation of the chemical-technological systems and ecological monitoring. Tel. +38-096-937-46-68. E - mail: sashadzevchko2@mail.ru (orcid.org/0000-0002-1297-1045)

Podustov Mikhail Alekseevich, Ph.D., Professor, head of department of automation of the chemical-technological systems and ecological monitoring. The National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine. Str. Frunze, 21, Kharkiv, Ukraine, 61002. Tel. +38-067-577-65-57. E - mail: podustov@kpi.kharkov.ua (orcid.org/0000-0003-2119-1961)

MODELING OF WATER RECYCLING OBJECT IN SODA ASH PRODUCTION

The article describes the basic principles of the object modeling of water recycling in soda ash production by ammonia method, as the most significant part of the total water withdrawals and water consumption of this production,

criteria and requirements for the rational functioning in the development and implementation of computer-integrated control system this object and producing in general.

Keywords: *modeling, water recycling object, the soda ash production, the criterion of functioning, computer-integrated control system.*

Введение

Разработанный более 140 лет назад бельгийским инженером Э. Сольве непрерывный производственный процесс получения кальцинированной соды по аммиачному способу (ПКС) и удачное его аппаратурное оформление практически не претерпели существенных изменений [1]. ПКС состоит из объектов со сложными процессами и аппаратами химической технологии с несколькими замкнутыми циклами по материальным потокам [1–3]. Наличие замкнутых циклов значительно усложняет разработку компьютерно-интегрированной системы управления (КИСУ) объектами и ПКС в целом, так как возникающее «непредсказуемое» нарушение технологического процесса на одном объекте ПКС может распространиться на другие, вызывая там нежелательные отклонения в ходе технологического процесса.

Современное развитие научно-технического прогресса позволяет рассматривать основные принципы повышения энергосбережения ПКС с улучшением качества управления рассматриваемым производством за счет согласования производительности работы основного и вспомогательного оборудования. Подробный анализ ПКС позволил сделать вывод о возможности и необходимости декомпозиции задачи управления ПКС на подзадачи управления основными и вспомогательными объектами [1] с разработкой для них и ПКС в целом КИСУ [4–7] с целью повышения их энергосбережения. Для решения таких подзадач необходимо доработать имеющиеся, но больше всего разработать новые математические зависимости для соответствующих объектов ПКС.

Цель работы

Моделирование объекта оборотного водоснабжения (ОВС) ПКС, предназначенного для отвода теплоты, которая выделяется в процессе химических экзотермических реакций основных объектов, и влияющего на энергосбережение всего производства, представляет собой сложный процесс изучения этого вспомогательного объекта для получения математических зависимостей, используемых при разработке и реализации КИСУ вспомогательным объектом ОВС и производством кальцинированной соды по аммиачному способу в целом.

Основная часть

Одним из факторов, обеспечивающих нормальное функционирование ПКС при условии снижения его энергетических затрат на 1 т кальцинированной соды, (топливо (кокс), кг – 94; пар, ГДж (Гкал) – 5,35 (1,28); электроэнергия, МДж (кВт/ч) – 220 (61); вода, м³ – 150 [1]), является уменьшение расхода оборотной технической воды. Наряду с общими проблемами эксплуатации и развития ПКС необходима разработка математических зависимостей вспомогательного объекта ОВС ПКС, которые обеспечили бы возможность параллельного включения требуемого количества агрегатов насосных станций без необходимости предварительного определения их характеристик, поскольку количество отведенной теплоты должно быть эквивалентно затратам охлаждающей воды в соответствующих холодильниках. Для решения этой задачи остановимся подробнее на описании фрагмента упрощенной схемы соединения вспомогательного объекта ОВС с основными объектами ПКС, представленной на рис. 1.

Вспомогательный объект ОВС (1) ПКС состоит из:

- камеры (4) горячей воды (1.3), насосов (5) с электродвигателями (на рис. 1 показан один) подачи горячей воды (1.4) в градирни (6) (на рис. 1 показана одна);
- насосов с электродвигателями подачи холодной воды (1.5) и дутьевых вентиляторов с электродвигателями (указанные насосы и вентиляторы на рис. 1 не показаны) подачи воздуха (3) на градирни (6);
- камеры (7) холодной воды, насосов (1.6) и (2.3) (на рис. 1 показаны по одному) с

электродвигателями подачи холодной воды (1.1) и (1.2) соответственно на основные объекты (3) и (2) ПКС.

Для поддержания допустимого уровня солесодержания горячей воды (1.3) объектом продувочных вод (на рис. 1 не показан) производится отбор из камеры (4) горячей воды (1.7). Для компенсации безвозвратного потребления воды основными объектами (2) и объектом продувочных вод, а также потерь на испарение и унос в градирнях (6), с промышленного подъема (на рис. 1 не показан) насосами (8) с электродвигателями (на рис. 1 показан один) подается охлажденная свежая вода (1.8), одна часть (1.8.1) которой поступает на основной объект (2.3), а другая часть (1.8.2) – в камеру (7) холодной воды.

К основным объектам (2) ПКС относятся объекты, потребляющие холодную воду (1.2) безвозвратно:

- объект фильтрации (2.1) гидрокарбонатной суспензии, поступающей от основного объекта (3.3), на котором холодная вода (1.2.1) используется для промывки осадка влажного гидрокарбоната натрия на поверхности вакуум-фильтров (на рис. 1 не показаны);
- объект гашения (2.2) извести, поступающей от основного объекта (3.5) (на рис. 1 не показано), и получения известковой суспензии с использованием холодной воды (1.2.2);
- объект подготовки (2.3) раствора хлорида натрия для ПКС с использованием холодной свежей воды (1.8.1), путем подземного выщелачивания каменной соли в скважинах методом гидровруба или растворением каменной соли, добытой в шахтах.

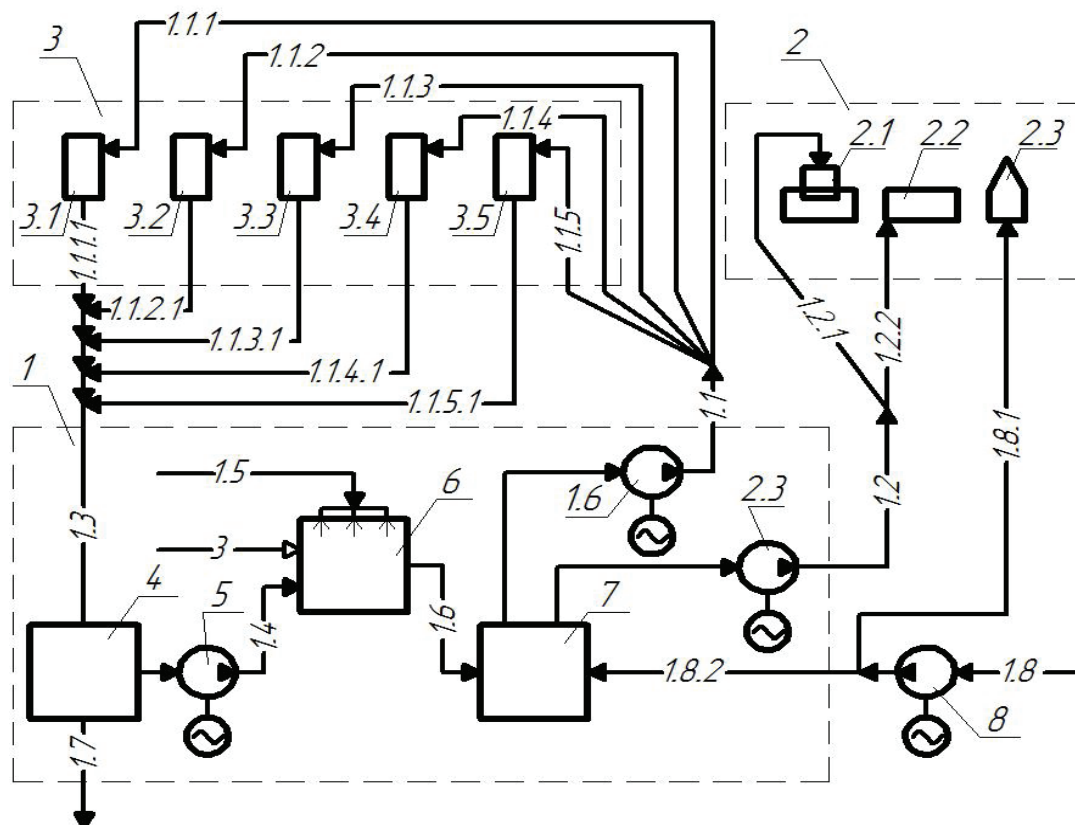


Рис. 1. Фрагмент упрощенной схемы соединения вспомогательного объекта оборотного водоснабжения с основными объектами производства кальцинированной соды по аммиачному способу

К основным объектам (3) ПКС относятся объекты с аппаратами колонного типа, в которых холодная вода (1.1), в результате химических экзотермических реакций в этих аппаратах [1–3] за счет теплоотдачи при конвективном теплообмене между движущейся холодной водой и поверхностью ее раздела с твердой средой, нагревается и полностью возвращается горячая вода (1.3) на вспомогательный объект ОВС (1). К таким объектам относятся:

- объект дистилляции (3.1), который предназначен для регенерации аммиака и диоксида углерода из фильтровой и слабой жидкостей и формирования непрерывного парогазового материального потока указанных газов с температурой 58–60°C (на рис. 1 не показаны);, подаваемого на объект (3.2), при этом холодная вода (1.1.1), охлаждая указанный парогазовый поток от температуры ~ 93°C до указанной выше, нагревается и становится горячей водой (1.1.1.1);

- объект абсорбции (3.2), – предназначен для получения потока аммонизированного рассола с температурой 28–32°C, передаваемого на объект (3.3) (на рис. 1 не показано);, при этом холодная вода (1.1.2), охлаждая указанный рассол от температуры ~ 65°C до указанной выше, нагревается и становится горячей водой (1.1.2.1);

- объект карбонизации (3.3), – предназначен для насыщения аммонизированного рассола диоксидом углерода и получения гидрокарбонатной суспензии, передаваемой на объект (2.1) с температурой 28–32°C (на рис. 1 не показано);, при этом холодная вода (1.1.3), охлаждая указанную суспензию от температуры ~ 72°C до указанной выше, нагревается и становится горячей водой (1.1.3.1);

- объект кальцинации (3.4), – предназначен для термического разложения влажного гидрокарбоната натрия, поступающего с объекта (2.1) (на рис. 1 не показано);, и получения в результате этого соды кальцинированной и диоксида углерода (на рис. 1 не показаны);, подаваемого на объект (3.3), с температурой не выше 43°C, при этом холодная вода (1.1.4), охлаждая указанный газ от температуры ~ 127°C до указанной выше, нагревается и становится горячей водой (1.1.4.1);

- объект обжига (3.5) карбонатного сырья, – предназначен для получения в результате обжига указанного сырья извести, подаваемой в объект (2.2), и диоксида углерода, подаваемого в объект (3.3) (на рис. 1 не показаны), с температурой не выше 47°C, при этом холодная вода (1.1.5), охлаждая указанный газ от температуры ~ 93°C до указанной выше, нагревается и становится горячей водой (1.1.5.1).

От объектов (3) ПКС потоки горячей воды (1.1.1.1), (1.1.2.1), (1.1.3.1), (1.1.4.1), (1.1.5.1) соединяются в горячую воду (1.3), которая возвращается в камеру (4) горячей воды. Для поддержания допустимого уровня солесодержания горячей воды (1.3) объектом продувочных вод производится отбор горячей воды (1.7) из камеры (4) горячей воды. Насосами (5) с электродвигателями горячая вода (1.4) подается на градирни (6), где холодной водой (1.5) и воздухом (3) охлаждается до температуры, установленной нормами технологического регламента. С градирен (6) самотеком холодная вода (1.6) поступает в камеру (7) холодной воды.

Насосами (2.3) с электродвигателями из камеры (7) холодная вода (1.2) подается в объекты (2) ПКС, потребляющие эту воду безвозвратно, распределяясь по объектам: (2.1) – холодная вода (1.2.1); (2.2) – холодная вода (1.2.2). А на объект (2.3) поступает холодная свежая вода (1.8.1), являющаяся частью холодной свежей воды (1.8), вторая часть (1.8.2) которой поступает в камеру (7) холодной воды для компенсации безвозвратного потребления воды основными объектами (2) и объектом продувочных вод.

Насосами (1.6) с электродвигателями из камеры (7) холодная вода (1.1) подается в объекты (3) ПКС, распределяясь по объектам: (3.1) – холодная вода (1.1.1); (3.2) – холодная вода (1.1.2); (3.3) – холодная вода (1.1.3); (3.4) – холодная вода (1.1.4); (3.5) – холодная вода (1.1.5), в которых эта вода нагревается и полностью возвращается (смотри выше) горячая вода (1.3) в камеру (4) горячей воды.

Более сложной и требующей тщательного изучения является группа основных объектов (3), так как режим их водопотребления, его временные характеристики, а также физические свойства возвращаемой горячей воды в значительной степени зависят от протекания основных технологических процессов в этих объектах ПКС, изменения параметров технологического режима которых рассматриваются как внешние возмущающие воздействия по отношению к вспомогательному объекту ОВС (1) ПКС.

Выбор технико-экономических критериев функционирования вспомогательного объекта ОВС является важным этапом в разработке КИСУ этим объектом, поскольку они определяют всю стратегию управления. При определении частных критериев функционирования объекта ОВС необходимо учитывать, что в области допустимых решений они должны быть аддитивными с общим критерием управления ПКС, чтобы не возникали противоречия между производством в целом и его отдельными объектами. При этом необходимо установить количественные взаимосвязи между экономическими показателями и параметрами технологического режима объекта ОВС, выявить те переменные, которые оказывают решающее влияние на ход технологического процесса и определить их допустимые изменения.

С учетом вышесказанного вспомогательный объект ОВС в ПКС с экономической точки зрения является полноценным технологическим процессом, использующим оборудование, сырье, трудовые ресурсы и вырабатывающим продукцию, которой является холодная техническая вода, имеющая определенную себестоимость. Поскольку теплоту экзотермических реакций в основных объектах (3) необходимо отводить для того, чтобы температура в аппаратах колонного типа поддерживалась на требуемом технологическом регламентом уровне, то количество отводимой теплоты (Q) можно рассчитать по формуле (здесь и дальше все величины в формулах приводятся в относительных единицах):

$$Q = FC\gamma(t_1 - t_2), \quad (1)$$

где F – расход холодной воды; C – теплоемкость холодной воды; γ – коэффициент теплоотдачи в аппаратах; t_1 – температура холодной воды; t_2 – температура охлаждаемой среды.

В то же время из анализа зависимости (1) вытекают следующие выводы:

- расход холодной воды через аппараты определен технологическим регламентом, при увеличении этого расхода резко возрастает сопротивление в трубном пространстве, что приводит к неоправданным материальным затратам, а при уменьшении расхода снижается скорость холодной воды в трубном пространстве и резко падает разность температур (Δt), $\Delta t = t_1 - t_2$, которая в свою очередь является функцией расхода холодной воды $\Delta t = f(F)$;

- температуры охлаждаемой среды (t_2) и холодной воды (t_1) также определены тем же технологическим регламентом, поэтому изменение разности их температур повлечет за собой изменение расхода холодной воды, а при определенном значении этой разности теплообмен может вообще прекратиться;

- количество отводимой теплоты можно почти однозначно свести к расходу холодной воды через объекты (3);

- в зависимости (1) присутствует коэффициент теплоотдачи в аппаратах колонного типа γ , который принимается за постоянную величину, но данные [8] показывают, что, например, с момента начала работы основного аппарата объекта (3.3) – карбонизационной колонны – в качестве рабочей в течение 48 часов до его окончания, коэффициент теплоотдачи изменяется почти в 2 раза, что оказывает влияние на соотношение количества отводимой теплоты и расхода холодной воды;

- следовательно, даже небольшое повышение температуры холодной воды по сравнению с регламентным значением приводит к резкому увеличению расхода ее для отвода теплоты.

Поэтому для более правильного подхода к управлению объектом ОВС (1) ПКС показателем его работы следует считать количество теплоты, которое отводится из основных объектов (3) ПКС, то есть:

$$Q_{ОВС} = Q_{ХР}, \quad (2)$$

где Q_{OBC} – количество теплоты, отводимое вспомогательным объектом ОВС (1) ПКС; Q_{XP} – количество теплоты, выделяемое в результате химических экзотермических реакций в основных объектах (3) ПКС.

Поскольку технологические процессы объекта ОВС (1) и основных объектов (3) ПКС взаимосвязаны, то единственно целесообразным критерием функционирования может быть себестоимость вспомогательного объекта ОВС (S_{OBC}) при условии обеспечения отвода необходимого количества теплоты основных объектов (Q_{XP}). В этом случае минимизация себестоимости вспомогательного объекта ОВС (S_{OBC}) решает поставленную задачу по условию:

$$S_{OBC} \rightarrow \min, \text{ при } Q_{OBC} = Q_{XP} \quad (3)$$

В то же время управление вспомогательным объектом ОВС по условию (3) в некоторых частных случаях (в летнее время) может оказаться малоэффективным, так как функционирование объекта ОВС выходит за пределы ограничений, установленных для управления. Поэтому в таких случаях целесообразно использовать критерий, который отражал бы ущерб, наносимый ПКС из-за неэффективного функционирования объекта ОВС, и позволял бы минимизировать этот ущерб. Это определяется первым критерием (K_1) в виде функционала на заданном интервале времени (T) при квантовании процесса по времени (τ):

$$K_1 = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T \varphi(Q_{1\tau}) \Delta \tau, \quad (4)$$

где
$$\varphi(Q_{1\tau}) = \begin{cases} 1, \text{ если } Q_{1\tau} > Q_2; \\ 0, \text{ если } Q_{1\tau} < Q_2; \end{cases}$$

$Q_{1\tau}$ – суммарное количество теплоты, выделяемое в процессе химических реакций;

Q_2 – количество теплоты, отводимое от основных объектов вспомогательным объектом ОВС;

$\varphi(Q_{1\tau})$ – случайное изменение количества теплоты $Q_{1\tau}$;

$\Delta \tau$ – шаг квантования процесса выделения $Q_{1\tau}$ по времени.

Для учета длительности и величины существующих ограничений на отвод теплоты от химических экзотермических реакций применим второй критерий (K_2) в виде функционала (обозначения такие же, что в формуле (4)):

$$K_2 = \frac{1}{T Q_2} \sum_{i=1}^T \varphi(Q_{1\tau}) (Q_2 - Q_{1\tau}) \Delta \tau. \quad (5)$$

Приведенные зависимости (4) и (5) позволяют представить критерии функционирования вспомогательного объекта ОВС (1) при ограничении водных ресурсов и рассмотреть более высокий уровень разработки КИСУ объектом ОВС (1) ПКС.

Одним из эффективных решений является оптимизация разделенных потоков оборотной холодной воды объекта ОВС (1) по минимуму ущерба, наносимого основным объектам (3) ПКС. Для улучшения теплового режима основных объектов (3) ПКС наиболее критические участки целесообразно выделить в отдельные циклы (j) ($j = \overline{1, N}$), которые обеспечиваются холодной водой либо по прямой схеме с последующим сбросом горячей воды в объект ОВС, либо выделяются в отдельный замкнутый цикл [9]. Эффективность функционирования такого варианта соединения можно характеризовать третьим критерием (K_3) в виде функционала:

$$K_3 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N K_j, \quad (6)$$

где K_j – функционал вида (5);

j – номер цикла, $j = \overline{1, N}$.

Чтобы дифференцировано подойти к учету качества функционирования объекта ОВС, введем функцию штрафа (D_j), характеризующую ущерб, который наносится основным технологическим объектам (3) в j -м цикле в результате неэффективного отвода теплоты. Таким ущербом может быть снижение производительности объекта ОВС, повышение температуры оборотной воды, либо повышение расходы энергоресурсов, что может быть определено в стоимостном выражении. В этом случае эффективность функционирования объекта ОВС необходимо характеризовать четвертым критерием (K_4) в виде:

$$K_4 = \sum_{j=1}^N K_j D_j. \quad (7)$$

Применение функционала (7) для управления вспомогательным объектом ОВС (1) позволяет решать поставленную задачу при ограничении водных ресурсов на ПКС. Он не только не противоречит, но и органически сливается с требованиями повышения эффективности работы объекта ОВС (1), так как является следствием управления его режимами, а одним из факторов является минимизация расхода горячей воды (1.7) на продувку.

В то же время реальный расход холодной воды на вспомогательный объект ОВС (1) ($F_{ОВС}$) ограничен тремя факторами: объемными расходами воды (1.7) на продувку для выравнивания солевого баланса оборотной воды ($F_{СБ}$); расходом холодной воды (1.1) на охлаждение теплоты химических реакций ($F_{ХР}$); сбалансирование безвозвратных расходов холодной воды (1.2) и (1.8.1) ($F_{БР}$), то есть:

$$F_{ОВС} = F_{СБ} + F_{ХР} + F_{БР}, \quad (8)$$

где $F_{ХР} = F_{ХР_1} + F_{ХР_2}$,

$F_{ХР_1}$ – расход холодной воды (1.1) на охлаждение; $F_{ХР_2}$ – дополнительный расход свежей холодной воды (1.8.2) при необходимости (особенно летом).

Рассмотренные математические зависимости (1–8) позволяют определить обобщенный критерий (K) для повышения эффективности функционирования объекта ОВС (1) и снижению водопотребления основными объектами (2) и (3) ПКС в виде:

$$K = (S_{Оч} + S_{ПТ}) F_{ОВС} - \sum_{j=1}^N D_j F_j, \quad (9)$$

где $S_{Оч}$ – стоимость полной очистки единицы оборотной воды в результате продувки,

$S_{ПТ}$ – стоимость затрат на перекачку по трубопроводам и обработку объектом ОВС (1) единицы объема воды;

$F_{ОВС}$ – реальный расход холодной воды на вспомогательный объект ОВС (1);

D_j – суммарный ущерб, наносимый основными объектами (3) в результате исключения j -й составляющей из общего расхода воды на продувку;

F_j – доля j -й составляющей в общем расходе воды на продувку.

Рассмотренные математические зависимости (1–9) наиболее просто можно реализовать при помощи современных многофункциональных, высокопроизводительных, многоканальных, быстродействующих и высоконадежных микропроцессорных контроллеров со специальным программным обеспечением, а также – контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации [10] для разработки КИСУ вспомогательным объектом ОВС (1) ПКС в целом.

Минимизация обобщенного критерия (9) будет способствовать повышению эффективности функционирования объекта ОВС (1) и снижению энергетических затрат всего ПКС в целом.

Вывод

Разработанные частные и обобщенный критерии рационального функционирования при рассмотрении основных принципов моделирования вспомогательного объекта оборотного водоснабжения производства кальцинированной соды по аммиачному способу позволяют решать задачи снижения расходов оборотной технической воды и других энергоресурсов и повышения энергетической эффективности всего производства в целом.

Список использованной литературы:

1. Зайцев И. Д. Производство соды [Текст] / И. Д. Зайцев, Г. А. Ткач, Н. Д. Стоев. – М.: Химия. 1984. – 312 с.
2. Процессы и аппараты химической технологии : учебник для вузов в 2 ч. Ч. 1 [Текст] / Л. Л. Товажнянский, А. П. Готлинская, В. А. Лещенко и др.; под общей ред. Л. Л. Товажнянского. Х.: НТУ «ХПИ». – 2004. – 632 с.
3. Процессы и аппараты химической технологии : учебник для вузов в 2 ч. Ч. 2 [Текст] / Л. Л. Товажнянский, А. П. Готлинская, В. А. Лещенко и др.; под общей ред. Л. Л. Товажнянского. – Х.: НТУ «ХПИ». – 2005. – 523 с.
4. Микропроцессорные системы [Текст]: учеб. пособие для вузов / под ред. Д. В. Пузанкова. – СПб.: Политехника, 2002. – 935 с.
5. Кузин А. В. Микропроцессорная техника [Текст]: учебник / А. В. Кузин, М. А. Жаворонков. – М.: Академия, 2004. – 304 с.
6. Жук В. И. Микропроцессорные контроллеры и системы управления на их основе: опыт построения [Текст] / В. И. Жук. Энергетика и ТЭК. – 2010. – № 01 (82). – С. 41–43.
7. Сиротский А. А. Микропроцессорные программируемые логические контроллеры в системах автоматизации и управления [Текст] учеб. пособие для вузов / А. А. Сиротский. – М.: Спутник, 2013. 170 с.
8. Крашенинников С. А. Технология кальцинированной соды и очищенного бикарбоната натрия [Текст] / С. А. Крашенинников. – М.: Высшая школа. 1985. – 286 с.
9. Гордин И. В. Технологические системы водообработки. Динамическая оптимизация. [Текст] / И. В. Гордин. – Л.: Химия. 1987. – 264 с.
10. Бобух А. А. Компьютерно-интегрированная система автоматизации технологических объектов управления централизованным теплоснабжением: монография [Текст] / А. А. Бобух, Д. А. Ковалев; под ред. А. А. Бобуха. – Х.: ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2013. – 226 с.

References:

1. Zaytsev I. D. Proizvodstvo sodyi [Tekst] / I. D. Zaytsev, G. A. Tkach, N. D. Stoev. – Moscow, Himiya. 1984. – 264 p.
2. Protsessyi i apparaty himicheskoy tehnologii : uchebnik dlya vuzov v 2 ch. Ch. 1 [Tekst] / L. L. Tovazhnyanskiy, A. P. Gotlinskaya, V. A. Leschenko i dr.; pod obschey red. L. L. Tovazhnyanskogo. – Kharkiv, NTU «HPI». – 2004. – 632 p.
3. Protsessyi i apparaty himicheskoy tehnologii : uchebnik dlya vuzov v 2 ch. Ch. 2 [Tekst] / L. L. Tovazhnyanskiy, A. P. Gotlinskaya, V. A. Leschenko i dr.; pod obschey red. L. L. Tovazhnyanskogo. – Kharkiv, NTU «HPI». – 2005. – 523 p.
4. Puzankov D. V. (2002). Microsystems [Mikroprocessornye sistemy], Politehnika, SPb, 935 p.
5. Kuzin A. V. (2004). The microprocessor technique [Mikroprocessornaja tehnika], Akademija, Moscow, 304 p.
6. Zhuk V. I. (2010). Microprocessor-based comptrollers and control system on their basis: experience of construction [Mikroprocessornye kontrollery i sistemy upravlenija na ih osnove: opyt postroenija], Jenergetika i TJEK, № 01 (82), P. 41–43.
7. Sirotskij A. A. (2013). The microprocessor logical pios in the systems of automation and control [Mikroprocessornye programmiruemye logicheskie kontrollery v sistemah avtomatizacii i upravlenija], Sputnik, Moscow, 170 p.
8. Krashenninnikov S. A. Tehnologiya kaltsinirovannoy sodyi i ochischennogo bikarbonatv natriya [Tekst] / S. A. Krashenninnikov. – Moscow : Vysshaya shkola. 1985. – 286 p.
9. Gordin I. V. Tehnologicheskie sistemyi vodoobrabotki. Dinamicheskaya optimizatsiya. [Tekst] / I. V. Gordin. – Leningrad.: Himiya. 1987. – 264 p.
10. Bobuh A. A., Kovalyov D. A. (2013). Computer-integrated system of automation of technological objects of control centralized heat-supply: monograph [Kompjuterno-integrirovannaja sistema avtomatizacii tehnologicheskikh obektov upravlenija centralizovannym teplosnabzheniem: monografija], HNUGH im. A. N. Beketova, Kharkiv, 226 p.

Поступила в редакцию 13.07 2015 г.